

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ
МАШИН СО ВСТРЕЧНО БЕГУЩИМИ ПОЛЯМИ
КАК ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**CHARACTERISTICS OF LINEAR INDUCTION MACHINES
WITH OPPOSITE DIRECTION TRAVELING FIELDS
AS AN OBJECT OF ELECTRICAL SUPPLY**

Абдуллаев Ж. О., Гапоненко Е. В., Раева Д. Ю., Коняев А. Ю.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
zhahongirl@mail.ru

Abdullaev Zh. O., Gaponenko E. V., Raeva D. Yu., Konyaev A. Yu.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В статье рассмотрены перспективы применения линейных индукционных машин с индуктором, создающим встречно бегущие магнитные поля. Показаны особенности машин как объектов электроснабжения.

Abstract: The article deals with the prospects of linear induction machines with the primary, establishing the opposite direction travelling magnetic fields. Features of machines as objects of power supply are shown.

Ключевые слова: линейные индукционные машины; встречно бегущие магнитные поля; электрические характеристики.

Key words: linear induction machines; opposite direction travelling magnetic fields; electrical characteristics.

В линейных индукционных машинах (ЛИМ) технологического назначения в ряде случаев целесообразно использование индукторов, создающих встречно бегущие магнитные поля [1]. Такие ЛИМ могут эффективно применяться в устройствах электромагнитного перемешивания жидких металлов, в электродинамических

сепараторах для сортировки лома и отходов цветных металлов, в установках индукционного нагрева в бегущем магнитном поле и т.п. ЛИМ со встречно бегущими полями могут существенно улучшить функциональные характеристики указанных устройств. В то же время они мало изучены, что делает их исследование актуальным. В данной работе выполнена оценка характеристик ЛИМ как объектов электроснабжения.

Известно, что ЛИМ с разомкнутым магнитопроводом характеризуются несимметрией токов в фазах обмотки, занимающих различное положение на индукторе. Для оценки такого явления проведены экспериментальные исследования четырехполюсной ЛИМ с открытой магнитной системой, в которой раскладка катушек по пазам индуктора характеризуется следующей последовательностью: ААZZВВХХССУУААZZВВХХССУУ. Эксперименты выполнены при питании ЛИМ от стандартной трехфазной сети (380 В, 50 Гц). Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Электрические параметры экспериментальной ЛИМ с магнитным полем, бегущим в одну сторону

Фазы	I , А	U , В	P , Вт	$\cos \varphi$, отн. ед.	φ , °	k_I , отн. ед.
А	2,08	232	302,5	0,627	51,18	1,11
В	2,28	230	25,0	0,048	87,27	1,21
С	1,27	198	55,0	0,219	77,37	0,68
Среднее значение	1,88	220	127,5	0,317	71,53	1,00

Данные, приведенные в табл. 1, подтверждают, что токи в фазах существенно отличаются. В частности ток в фазе, занимающей среднее положение на индукторе, меньше токов в других фазах в 1,5–2,0 раза. Уровень несимметрии токов целесообразно оценивать в относительных единицах с помощью коэффициента несимметрии k_I , определяемого как отношение фазного тока к среднему значению тока индуктора. В данном случае значения k_I изменяются от 0,68 до 1,21. При больших мощностях технологических установок такая несимметрия токов ведет к увеличению потерь в системе электроснабжения и недоиспользованию трансформаторов.

Особенностью ЛИМ технологического назначения помимо несимметрии токов является также низкий уровень коэффициента мощности ($\cos \varphi$), что также приводит к дополнительным потерям в системах электроснабжения. Можно отметить, что в рассматриваемых ЛИМ угол φ для разных фаз существенно отличается. Отмеченные виды несимметрии электрических параметров ЛИМ наглядно видно на векторной диаграмме, построенной по данным табл. 1 и показанной на рис. 1.

Указанные виды несимметрии параметров ЛИМ, ограничивают возможности компенсации реактивной энергии с помощью установки конденсаторных батарей. Сказанное иллюстрируется результатами расчетов, приведенных в табл. 2. Реактивные токи и мощности в фазах ЛИМ существенно различаются, поэтому для их компенсации необходимы конденсаторы с разными значениями емкости (в таблице это емкости C_0). Установка традиционно применяемых конденсаторных батарей не решает проблему.

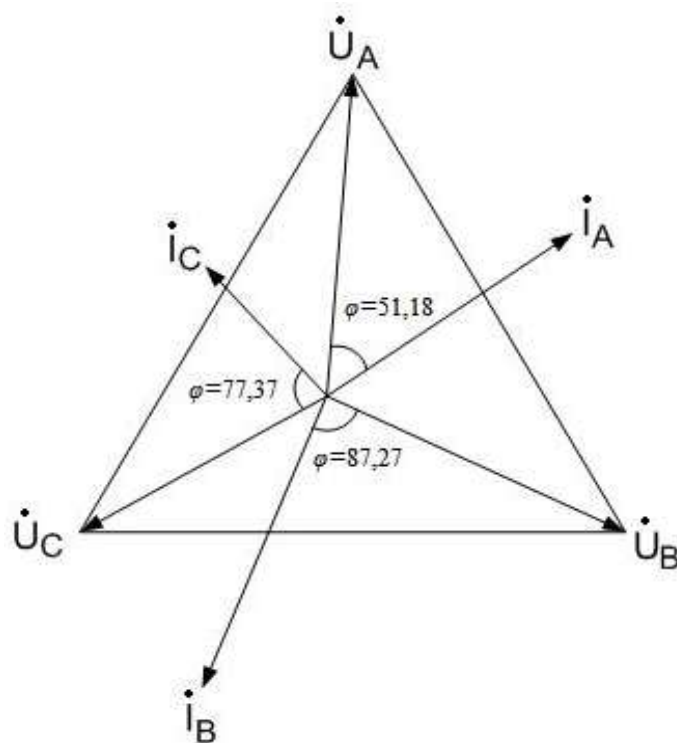


Рис. 1. Векторная диаграмма токов и напряжений ЛИМ

В табл. 2 приведены результаты расчетов системы с учетом установки конденсаторов емкостью 15 мкФ. Видно, что в фазах А и В сохраняются большие реактивные токи. В то же время уровень

несимметрии фазных токов возрастает (значения k_I изменяются от 0,34 до 1,43).

Таблица 2

Изменение параметров ЛИМ с учетом компенсации части реактивной энергии

Фазы	До компенсации			После компенсации (для $C = 15$ мкФ)			
	I_p , А	Q , ВА	C_0 , мкФ	I_p , А	I , А	$\cos \varphi$, отн. ед.	k_I , отн. ед.
А	1,62	376,0	43,9	0,58	1,43	0,910	1,43
В	2,28	523,8	31,6	1,24	1,24	0,088	1,24
С	1,24	245,4	20,9	0,20	0,34	0,811	0,34

В ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями появляются дополнительные факторы, влияющие на токи в фазах обмотки: искажение магнитных полей в центральной части индуктора, изменение местоположения фаз на половинах индуктора и т.д. В то же время предсказать влияние этих факторов трудно. Поэтому были выполнены экспериментальные исследования электрических параметров ЛИМ с разбегающимися и сбегающимися магнитными полями при различных вариантах схем обмоток (по шесть вариантов схем). Исследования показали, что искажения величины фазных токов и фазовых углов зависят от схем укладки катушек. Выявлены варианты, в которых уровень несимметрии токов уменьшается. Данные для одного из таких вариантов, соответствующих последовательности укладки катушек $YUCSXVBZZAAAAZZVBXXCCYY$, показаны в табл. 3.

Таблица 3

Электрические параметры ЛИМ с разбегающимися
магнитными полями

Фазы	I , А	U , В	P , Вт	$\cos \varphi$, отн. ед.	φ , °	k_I , отн. ед.
А	2,12	231	264	0,538	57,47	1,04
В	2,36	223	100	0,190	79,06	1,16
С	1,66	210	100	0,286	73,36	0,81
Среднее значение	2,04	221,33	154,6	0,341	70,07	1,00

Можно отметить выравнивание токов по фазам (отклонения от среднего значения не превышают 20 %) и выравнивание фазовых углов. Это создает благоприятные условия для компенсации реактивной энергии ЛИМ и снижения потерь в системе электроснабжения. Такая схема обмотки ЛИМ, создающая встречно бегущие поля может быть рекомендована для практического использования.

Список использованных источников

1. Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями для энергоэффективных технологий / А. Ю. Коняев, Б. А. Сокунов, Ж. О. Абдуллаев, Е. Л. Швыдкий // Промышленная энергетика. 2017. № 4. С. 2–7.

УДК 621.039

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА АЭС С РЕАКТОРАМИ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

EFFICIENCY IMPROVING OF THE FREEZING DEVICES FOR LIQUID METAL COOLANT OF THE NPP WITH FAST- NEUTRON REACTOR

Александровский К. Е., Ташлыков О. Л., Попов А. И.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
alexandrovsky.k@gmail.com

Aleksandrovskiy K. E., Tashlykov O. L., Popov A. I.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрены основные свойства натриевого теплоносителя. Показана необходимость замораживания натрия при работах на натриевом оборудовании. Описано устройство для замораживания натрия в трубах.